

TNO-rapport
FEL-97-A043

Evaluatie van de locatie Lauwersmeer voor INTERSAT

TNO Fysisch en Elektronisch
Laboratorium

Oude Waalsdorperweg 63
Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage

Telefoon 070 374 00 00
Fax 070 328 09 61

Datum
maart 1997

Auteur(s)
Ir. J.P. Dezaire
Dr.ir. A.T.M. Wilbers

Rubricering
Vastgesteld door : Ing. P.P.M. Geilenkirchen
Vastgesteld d.d. : 7 maart 1997

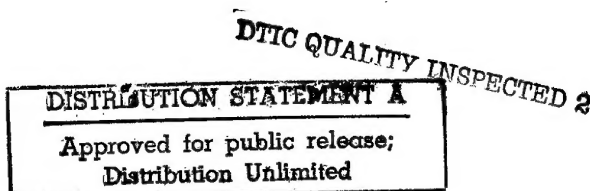
Titel : Ongerubriceerd
Managementuittreksel : Ongerubriceerd
Samenvatting : Ongerubriceerd
Rapporttekst : Ongerubriceerd
Bijlage A : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO dan wel de
betreffende ter zake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Exemplaar. : 9
Oplage : 30
Aantal pagina's : 31 (incl. bijlage,
excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen : 1

© 1997 TNO



TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium is onderdeel
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:

TNO Prins Maurits Laboratorium
TNO Technische Menskunde



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

19970716 161

Managementuittreksel

Titel : Evaluatie van de locatie Lauwersmeer voor INTERSAT
Auteur(s) : Ir. J.P. Dezaire, Dr.ir. A.T.M. Wilbers
Datum : maart 1997
Opdrachtnr. : 852.2226.6240.11
IWP-nr. : 770.1
Rapportnr. : FEL-97-A043

De Directie Materieel van de Koninklijke Landmacht, afdeling Communicatiesystemen (DMKL/COM), is momenteel bezig met het project INTERSAT. INTERSAT staat voor interim satellietcommunicatie (SATCOM). Het is een systeem, dat in 1999 de huidige gehuurde SATCOM-systemen moet gaan vervangen. Na uitvoerig onderzoek van meerdere locaties in Nederland is aan de landmachtstaf (LAS) geadviseerd om het ankerstation voor INTERSAT onder te brengen op de Willem Lodewijk van Nassaukazerne te Lauwersmeer. Uit overleg tussen DMKL/COM en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is vernomen, dat voor de inrichting van een vast ankerstation door de KL op de locatie Lauwersmeer op voorhand geen elektromagnetische interferentie wordt verwacht. Om meer zekerheid te krijgen over de juistheid van de gekozen locatie is aan TNO-FEL gevraagd of zij hier een rol kan spelen door het uitvoeren van een onderzoek naar mogelijke interferentie. Dit rapport beschrijft de resultaten van dit onderzoek.

De geschiktheid van de locatie wordt voornamelijk bepaald door de mogelijke interferentie met (inter)nationale systemen. Hierbij zijn twee aspecten van belang:

- Interferentie met naburige satellieten;
- Interferentie met straalzenders.

Daarnaast speelt de problematiek van de plaatsing van de antennes op het complex een rol. Hier zijn de volgende aspecten van belang:

- Benodigde vrije zicht van de antennes;
- Het stralingsgevaar voor mensen.

Als voornaamste conclusie wordt hier vermeld, dat de locatie Lauwersmeer bijzonder geschikt lijkt. De reden hiervan is dat, vanuit het oogpunt van het voorkomen van interferentie met andere systemen, er waarschijnlijk geen betere lokatie in Nederland denkbaar is dan een lokatie vlakbij grondstation Burum van PTT Telecom, zoals Lauwersmeer er een is. Burum is namelijk voor de civiele frequentiebanden (C-band en Ku-band) reeds zoveel mogelijk gevrijwaard van interferentie. Nadat voor INTERSAT bekend is welke satellieten gebruikt gaan worden en met welke frequenties en bandbreedten gewerkt gaat worden, moet wel zo spoedig mogelijk de aanvraag voor coördinatie van de gekozen frequenties bij de Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR) worden ingediend.

Voor de plaatsing van de antennes op het complex te Lauwersmeer geldt dat, indien de antennes op één lijn van het westen naar het oosten worden geplaatst, de afstand tussen de antennes ongeveer 35 meter moet zijn. Om problemen met stralingsgevaar te voorkomen, verdient het aanbeveling om de antennes op een verhoging te plaatsen. Dit vermindert tevens de eisen voor de maximale hoogte van obstakels in de buurt van de antennes.

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Mogelijke interferentie met (inter)nationale systemen.....	6
2.1	Interferentie met naburige satellieten	6
2.2	Interferentie met straalzenders	7
3.	Plaatsing van de antennes op het complex.....	20
3.1	Benodigde vrije zicht van de antennes	20
3.2	Het stralingsgevaar voor mensen.....	22
4.	Conclusies en aanbevelingen	24
4.1	Conclusies	24
4.2	Aanbevelingen	24
5.	Referenties	25
6.	Ondertekening.....	26
	Bijlage	
A	Vermogensdichtheid in de centrale bundel	

1. Inleiding

DMKL/COM is momenteel bezig met het implementeren van het planconcept voor INTERSAT, een SATCOM-systeem voor gebruik bij crisisbeheersing. Na uitvoerig onderzoek van meerdere locaties in Nederland is door DMKL/COM aan de landmachtstaf (LAS) geadviseerd om het ankerstation onder te brengen op de Willem Lodewijk van Nassaukazerne te Lauwersmeer. Uit overleg tussen DMKL/COM en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is vernomen, dat voor de inrichting van een vast ankerstation door de KL op de locatie Lauwersmeer op voorhand geen elektromagnetische interferentie wordt verwacht. Om meer zekerheid te krijgen over de juistheid van de gekozen locatie is aan TNO-FEL gevraagd of zij hier een rol kan spelen door het uitvoeren van een onderzoek naar mogelijke interferentie. Dit rapport beschrijft de resultaten van dit onderzoek. Bij het onderzoek zijn de volgende onderwerpen behandeld:

- Onderzoek naar de geschiktheid van de locatie voor plaatsing van twee grondstations in de C-band (civiele band, 4/6 GHz) en één grondstation in de Ku-band (civiele band, 11-12/14 GHz);
- Onderzoek naar de geschiktheid van de locatie voor toekomstige plaatsing van grondstations in andere banden (o.a. X-band (militaire band, 7/8 GHz) en Ka-band (civiele band, 20/30 GHz));
- Adviseren over de optimale locatie van de antennes op het complex (ter voorkoming van interferentie);
- Adviseren over consequenties m.b.t. ruimtelijke ordening (o.a. benodigde horizontale en verticale vrije ruimte);
- Adviseren over de coördinatieprocedure die via de Rijksdienst voor Radio-communicatie (RDR) moet worden gevolgd, t.b.v. het verkrijgen van een zendmachtiging voor de (nog te kiezen) frequenties en het voorkomen van interferentie op de eigen ontvangen signalen.

De geschiktheid van de locatie wordt voornamelijk bepaald door de mogelijke interferentie met (inter)nationale systemen. Hierbij zijn twee aspecten van belang:

- Interferentie met naburige satellieten;
- Interferentie met straalzenders.

Dit deel van het onderzoek heeft geleid tot enkele conclusies en aanbevelingen betreffende de coördinatieprocedure die via de RDR moet worden gevolgd.

Daarnaast speelt de problematiek van de plaatsing van de antennes op het complex een rol (hoofdstuk 3). Hier zijn de volgende aspecten van belang:

- Benodigde vrije zicht van de antennes;
- Het stralingsgevaar voor mensen.

Hoofdstuk 4 geeft enkele conclusies en aanbevelingen.

2. Mogelijke interferentie met (inter)nationale systemen

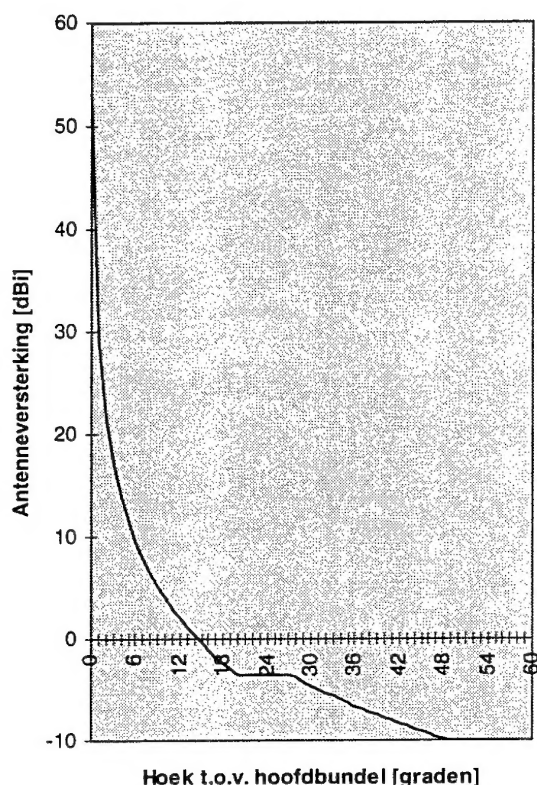
2.1 Interferentie met naburige satellieten

De International Telecommunication Union (ITU) heeft aanbevelingen opgesteld voor de specificaties van antennes van grondstations. Deze specificaties hebben betrekking op het uitgestraalde vermogen buiten de hoofdbundel van de antenne. Indien dit uitgestraalde vermogen te hoog is bestaat de kans dat satellieten, die op enkele graden staan van de gebruikelijke satelliet en die van dezelfde frequentie gebruik maken, worden gestoord¹. De normen worden geleidelijk aan steeds strenger, aangezien de satellieten steeds dichter bij elkaar worden geplaatst. De specificaties van de ITU zijn echter niet stringent en gaan uit van uniforme belichting van de schotel van de antenne.

De internationale satellietorganisaties Intelsat en Eutelsat hebben ook normen gesteld voor antennes van grondstations. Deze normen zijn iets hoger dan de aanbevolen normen van de ITU. Gebruikers van satellieten van deze organisaties zijn verplicht aan deze normen te voldoen. Voor INTERSAT zijn met name de normen van Intelsat (wereldwijde dekking) van belang. Deze liggen weer iets hoger dan die van Eutelsat. In figuur 2.1 op de volgende bladzijde is de Intelsat-specificatie weergegeven voor een antenne met een maximale versterking in de hoofdbundel van 53.1 dBi. De antenneversterking als functie van de hoek t.o.v. de hoofdbundel mag nergens hoger zijn dan de getrokken lijn.

In het algemeen worden schotels van antennes voor satellietgrondstations niet uniform belicht, maar parabolisch. Hierdoor wordt het vermogen naar de randen van de schotel toe steeds minder, zodat het vermogen meer in de hoofdbundel wordt geconcentreerd. Dit gaat enigszins ten koste van de maximale versterking in de hoofdbundel (enkele tienden dB verlies) maar de normen worden d.m.v. deze methode gemakkelijk gehaald. Bij het aankopen van antennes dient door de Landmacht aan de leverancier aangegeven te worden, dat de antennes aan de Intelsat-normen [1] dienen te voldoen. Voor deze studie is het afstralpatroon van de antenne in zoverre van belang, dat dit ook van invloed is op de interferentie met straalzenders en daarom in de berekeningen moet worden meegenomen.

¹ Voor INTERSAT wordt uitgegaan van geostationaire satellieten.



Figuur 2.1: Antenne-diagram volgens IESS-601.

2.2 Interferentie met straalzenders

De kans dat satellietgrondstations onderling interfereren is erg klein. De zendfrequentie is meer dan 500 MHz hoger dan de ontvangsfrequentie. Ook is het zo, dat in de antennes van satellietgrondstations, die zowel zenden als ontvangen, speciale filters zijn aangebracht. Deze filters voorkomen dat de zeer gevoelige, breedbandige, ontvangstversterker overstuurd wordt door de sterke zendsignalen. Aangezien de zendsignalen van andere satellietgrondstations zwakker zullen zijn dan de eigen zendsignalen vanwege de propagatieverliezen, is de kans op interferentie minimaal.

Straalzenders echter kunnen wel degelijk uitzenden op frequenties die door het grondstation voor ontvangst worden gebruikt. Tevens is het mogelijk dat straalzenders op hun beurt signalen ontvangen, die afkomstig zijn van een satellietgrondstation. Onderlinge interferentie kan daarom gemakkelijk optreden zowel voor zenden als ontvangen. Afhankelijk van de propagatie en van de sterkte van de zendsignalen is er een bepaald gebied rondom een grondstation waar interferentie kan optreden. Dit gebied wordt begrensd door een zogenaamde 'coördinatie-contour'. In Appendix 28 bij de Radio Regulations van de ITU [2] staat een

methode beschreven voor de bepaling van het coördinatiegebied rondom een grondstation in frequentiebanden tussen 1 GHz en 40 GHz. Deze banden worden gedeeld door satelliet en terrestrische radiocommunicatiediensten. Om inzicht te verkrijgen in de omvang van de mogelijke interferentie is in dit rapport daarom eerst een aantal berekeningen uitgevoerd op basis van Appendix 28. Als uitgangspunt zijn hiervoor twee Intelsat satellieten genomen (boven de Atlantische Oceaan en de Indische Oceaan) die een groot dekkingsgebied bereiken via C-band (4/6 GHz) en één Intelsat satelliet boven de Atlantische Oceaan die via de Ku-band (11-12/14 GHz) een groot deel van Europa bedekt. De dekkingsgebieden zijn weer gegeven in figuren 2.2, 2.3 en 2.4.

Voor de berekening van de coördinatiecontouren zijn verder de volgende aannames gemaakt:

- Voor de beide C-band opties is uitgegaan van de hemi-beams, voor de Ku-band optie van de Europese spot-beam².
- Voor zowel C- als Ku-band is aangenomen dat het grondstation in Lauwersmeer een schoteldiameter heeft van 9 meter en dat het verplaatsbare grondstation een schoteldiameter heeft van 2,4 meter.
- Voor de bepaling van het benodigde zendvermogen, dat nodig is om een verbinding te maken van het grondstation in Lauwersmeer naar het verplaatsbare grondstation, is verder aangenomen dat de modulatie-methode Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) is met '3/4 rate forward error correction' en dat de minimale 'bit error rate' gelijk is aan 10^{-6} .
- Het antenne diagram voldoet aan de specificatie volgens IESS-601 [1].

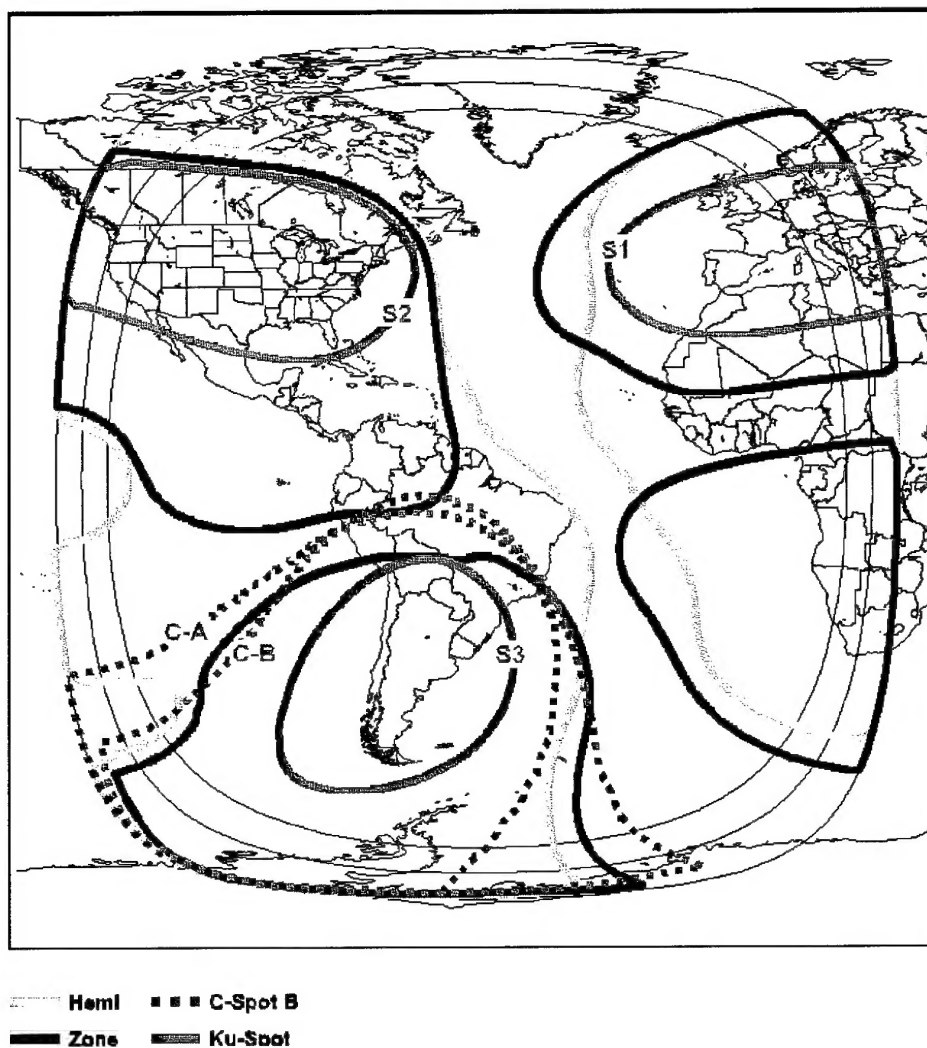
Voor elk van de drie satellieten is een coördinatiecontour berekend voor zowel zenden als ontvangen op de locatie Lauwersmeer (6°18'00"Oost en 53°20'50"Noord). In figuren 2.5 t/m 2.10 worden de zend- en ontvangcontouren voor Intelsat 706, Intelsat 704 en Intelsat K getoond.

Uit deze figuren leren we dat bij de aanvraag voor zendmachtiging in de C-band gecoördineerd moet worden met het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Denemarken en Noorwegen. Dit hoeft echter alleen gedaan te worden voor het gedeelte van deze landen dat binnen de coördinatiecontour valt. Uit de berekeningen volgens appendix 28 blijkt ook dat, om een ongestoorde ontvangst in de C-band te kunnen garanderen, er over een nog veel groter gebied moet worden gecoördineerd. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat de straalzenders hun energie bundelen in het horizontale vlak, terwijl de meeste energie van het grondstation schuin omhoog gebundeld wordt richting satelliet. Het grondstation kan dus eerder last hebben van de signalen afkomstig van straalzenders dan andersom. Wat verder

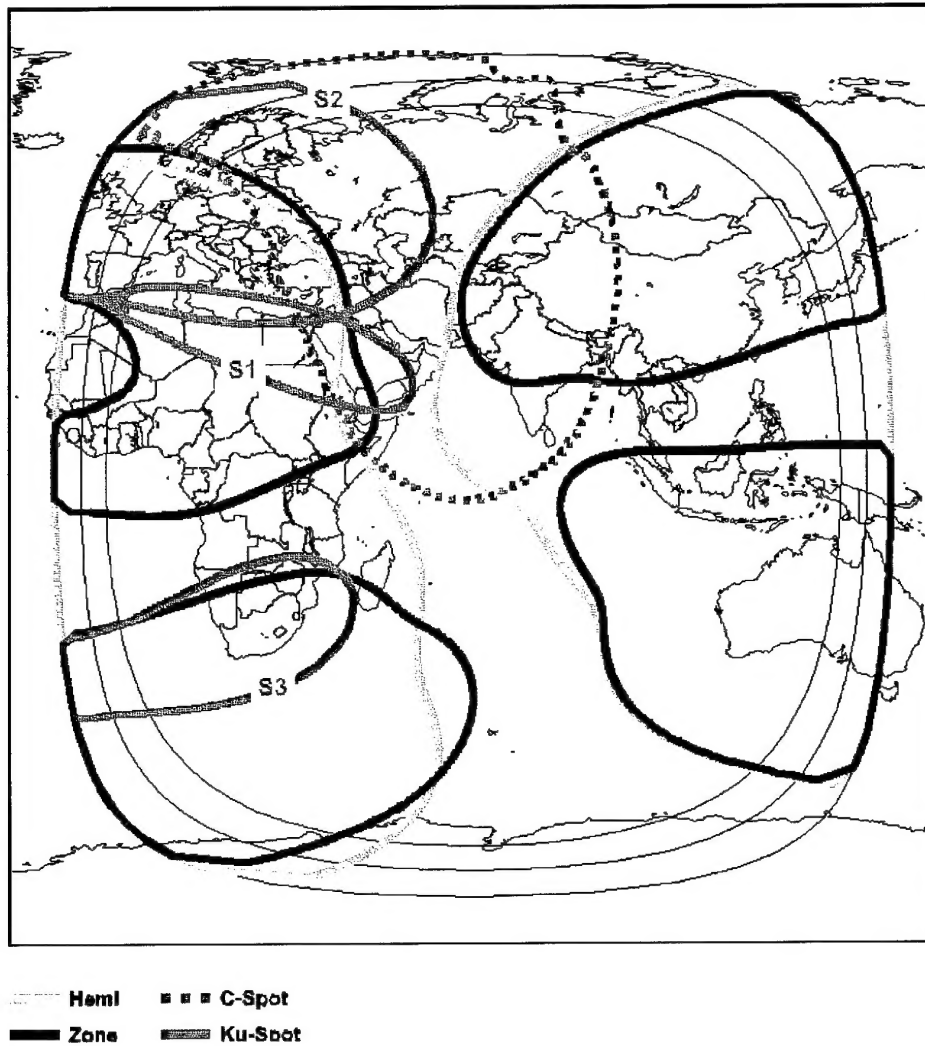
² De 'global beam' van een geostationaire satelliet wordt gecreëerd m.b.v. van een antenne, die zo ontworpen is dat hij precies het gehele voor de satelliet zichtbare gedeelte van de aarde bestrijkt. 'Hemi beams' zijn antennebundels die een continent bijna in zijn geheel kunnen bedekken. 'Zone beams' bedekken een gebied dat ongeveer half zo groot is, bijv. Noord-Amerika of West-Europa. 'Spot beams' bedekken een nog kleiner gebied en zijn voornamelijk gericht op dichtbevolkte gebieden waar de intensiteit van het communicatieverkeer hoog is.

opvalt is de grote overeenkomst tussen de contouren voor Intelsat 706 en 704, die toch op zeer verschillende posities staan. Dit heeft te maken met het feit dat het zend- en ontvangspatroon van de antenne van het satellietgrondstation in het horizontale vlak vrijwel omnidirectioneel is en niet zozeer afhankelijk van de richting van de antennebundel (en dus ook niet van de satellietpositie). In de Ku-band is de contour voor zenden zeer klein, daardoor wordt deze bepaald door de minimale contour van 100 km die volgens appendix 28 altijd moet gelden.

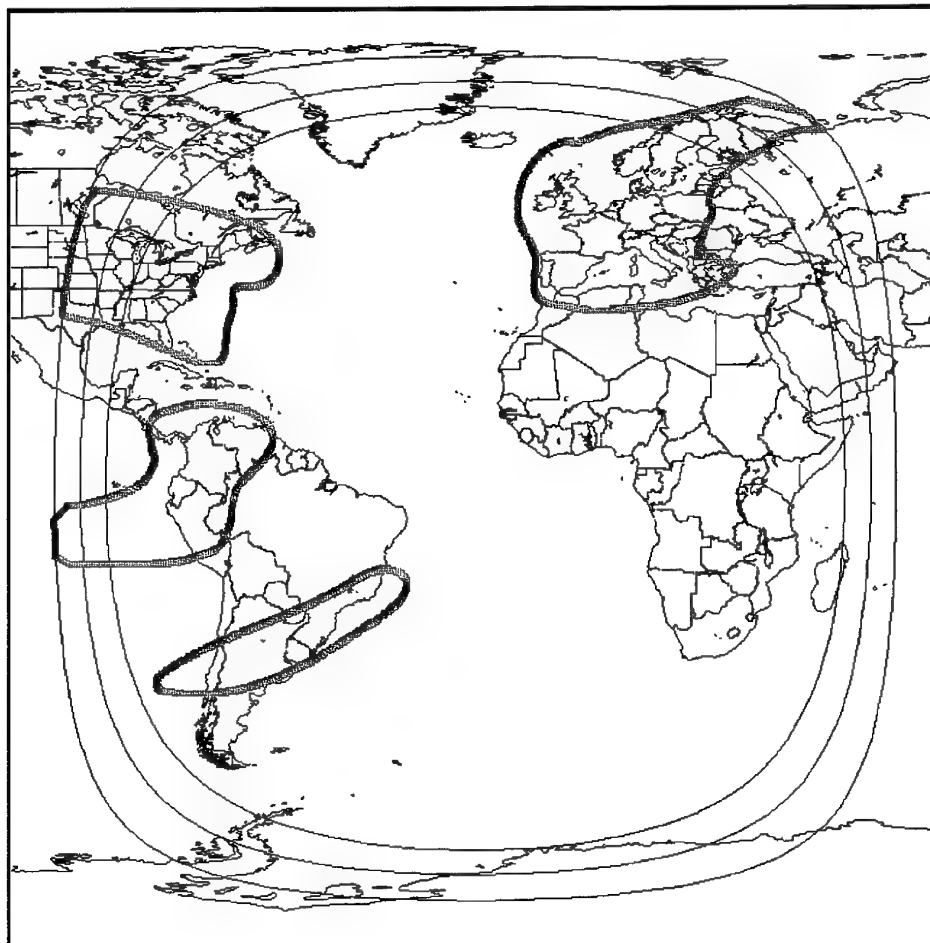
IS-706 at 307°E



Figuur 2.2: Bedekkingsgebied van de Intelsat 706 satelliet op 53° West.

IS-704 at 66°E

Figuur 2.3: Bedekkingsgebied van de Intelsat 704 satelliet op 66° Oost.

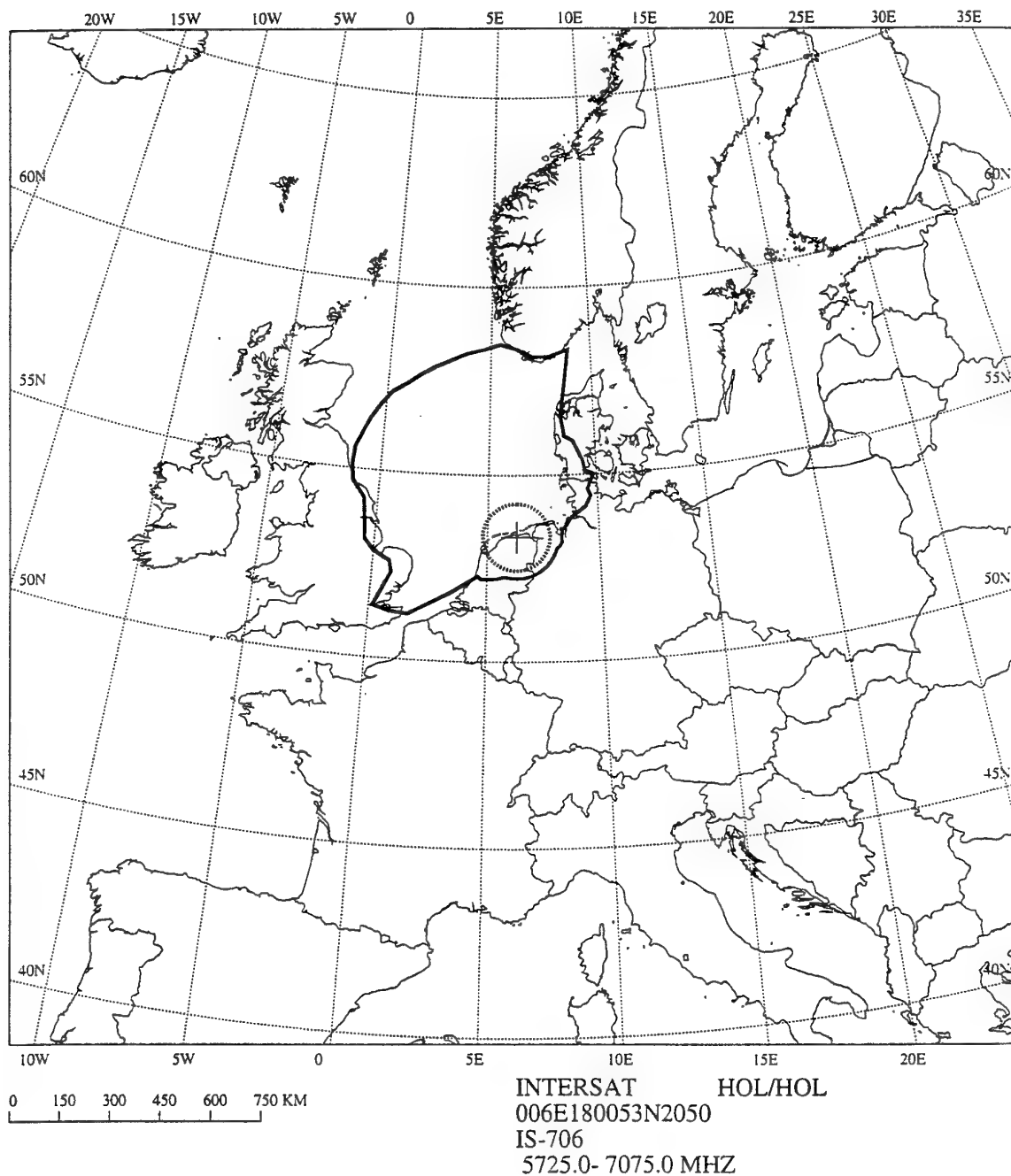
IS-K at 338.5°E**Ku-Band**

NOTE: South America beams receive only.

Figuur 2.4: Bedekkingsgebied van de Intelsat K satelliet op 21,5° West.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE TRANSMISSION
TRANSMITTING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA

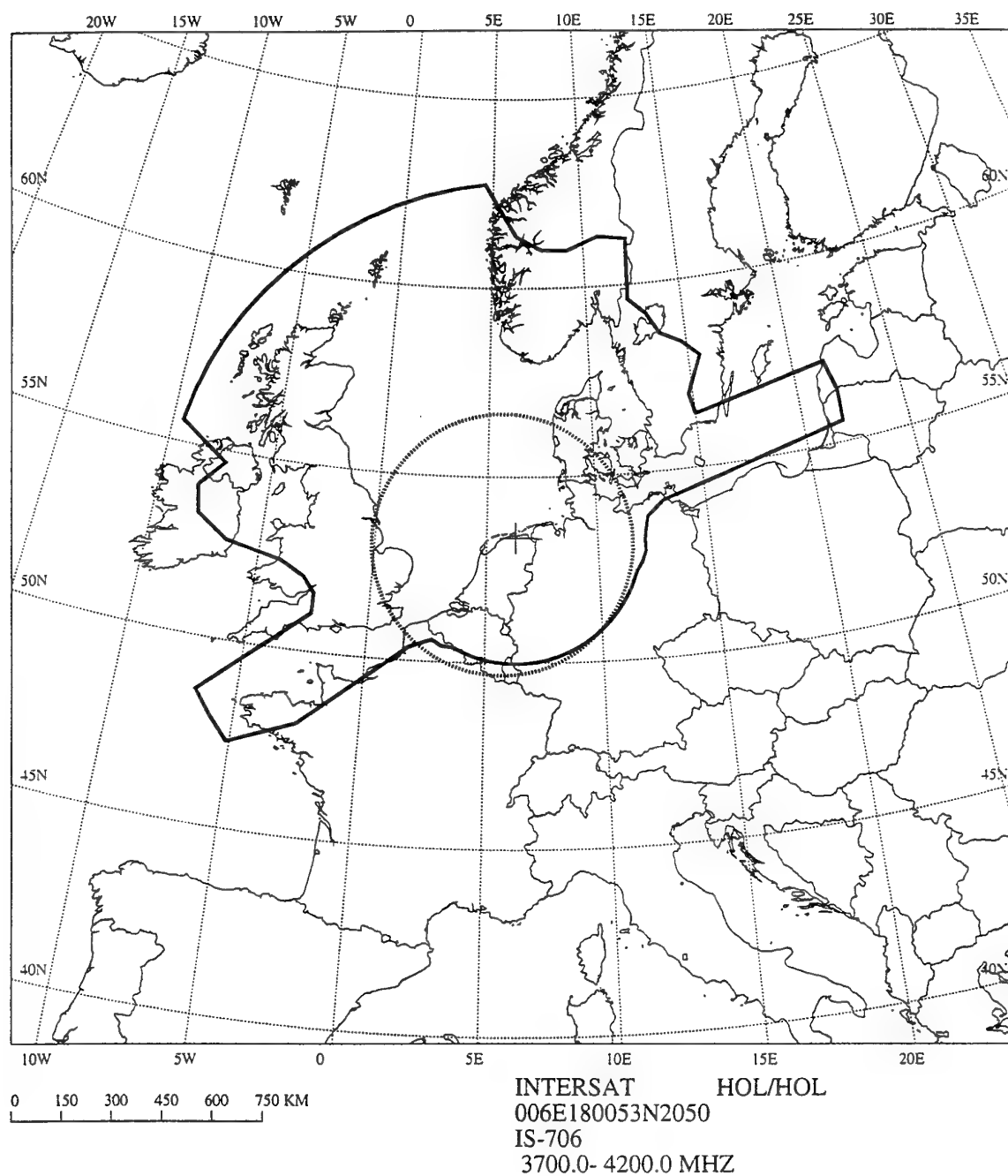


5 11

Figuur 2.5: Coördinatie-contour voor zenden bij gebruik van Intelsat 706.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE RECEPTION
RECEIVING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA RECEPTORA

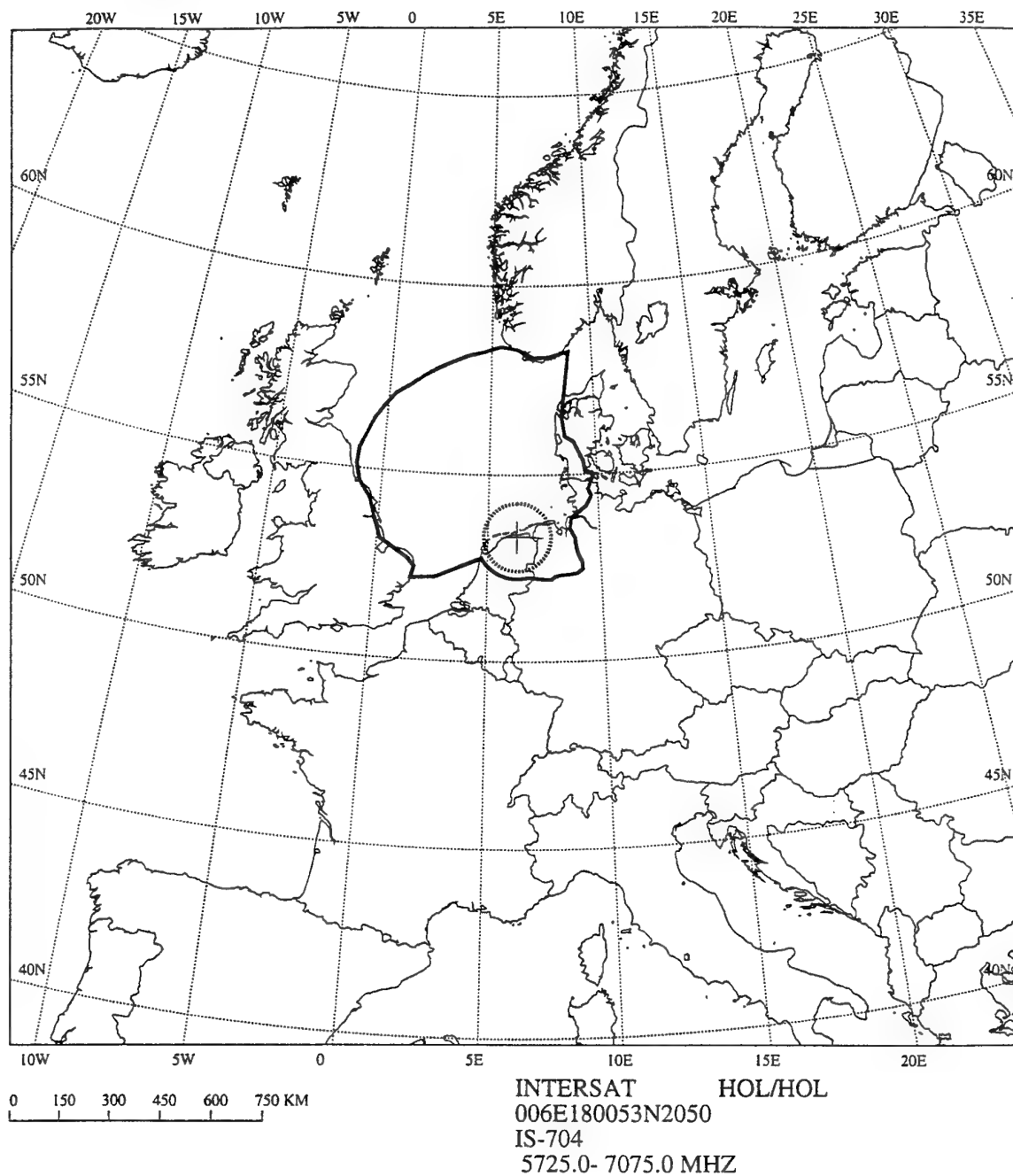


5 12

Figuur 2.6: Coördinatie-contour voor ontvangen bij gebruik van Intelsat 706.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE TRANSMISSION
TRANSMITTING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA

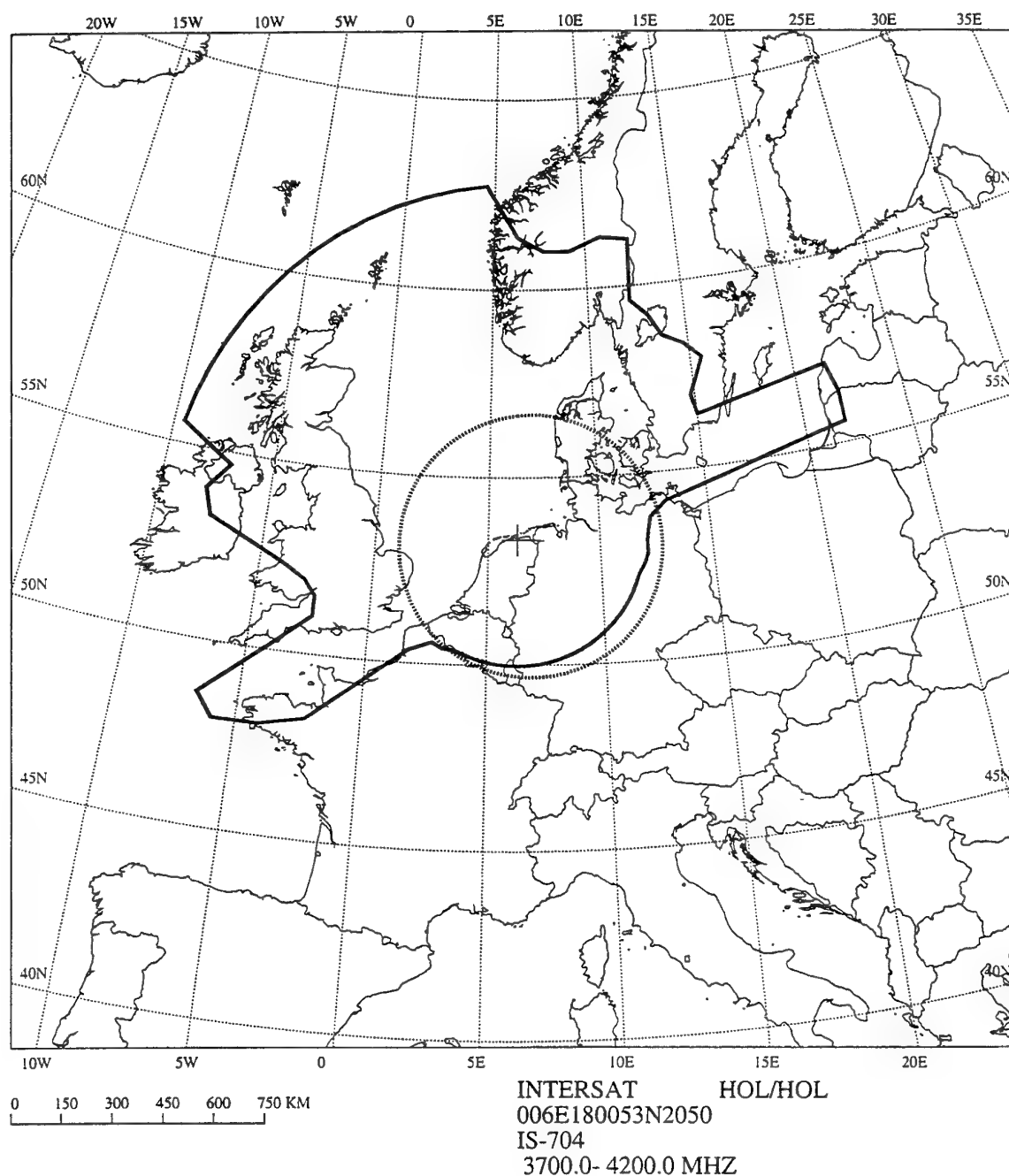


5 11

Figuur 2.7: Coördinatie-contour voor zenden bij gebruik van Intelsat 704.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE RECEPTION
RECEIVING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA RECEPTORA

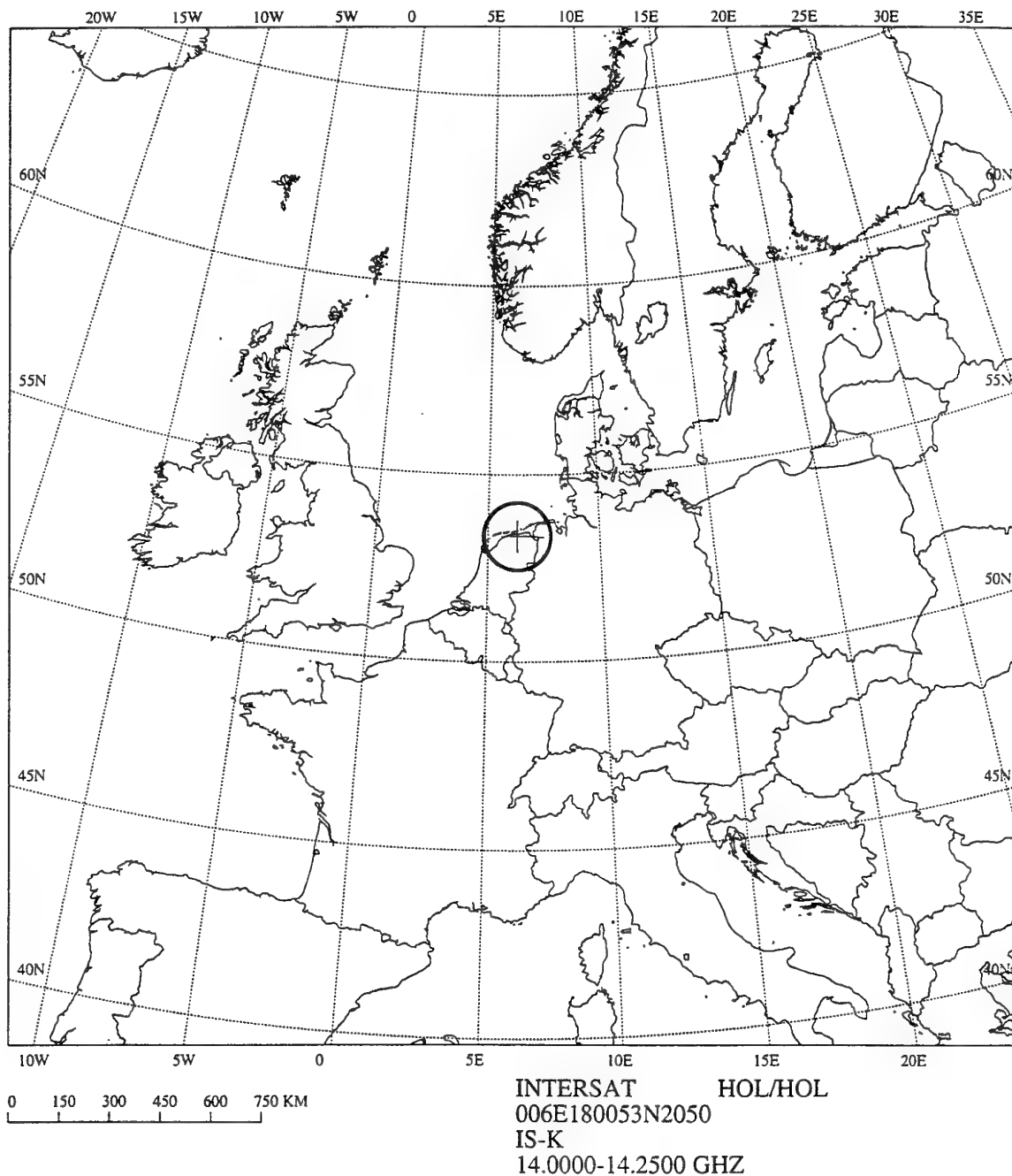


5 12

Figuur 2.8: Coördinatie-contour voor ontvangen bij gebruik van Intelsat 704.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE TRANSMISSION
TRANSMITTING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA

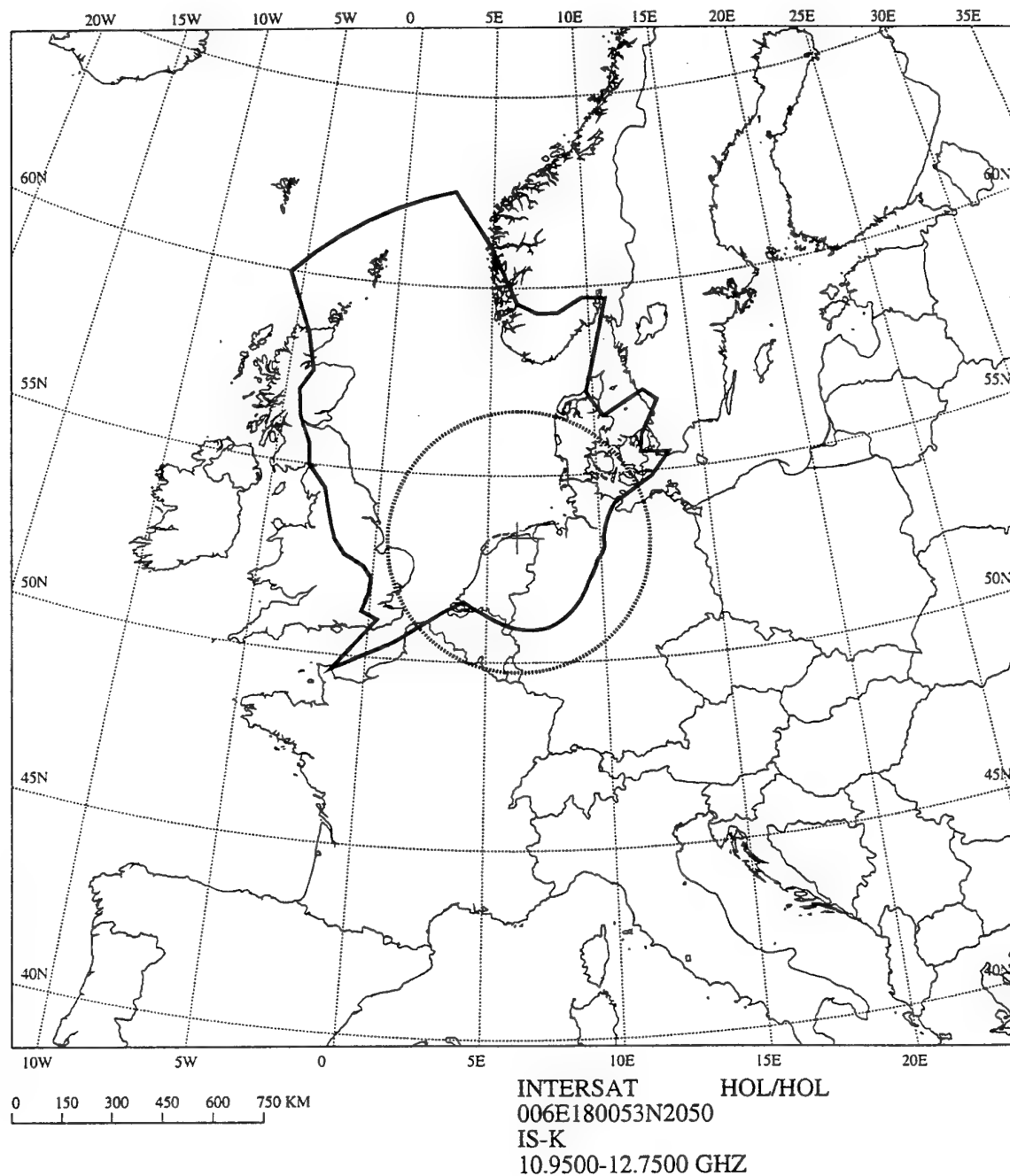


5 11

Figuur 2.9: Coördinatie-contour voor zenden bij gebruik van Intelsat K.

AP28

CONTOURS DE COORDINATION DE LA STATION TERRIENNE DE RECEPTION
RECEIVING EARTH STATION COORDINATION CONTOURS
CONTORNOS DE COORDINACION DE LA ESTACION TERRENA RECEPTORA



5 12

Figuur 2.10: Coördinatie-contour voor ontvangen bij gebruik van Intelsat K.

Het gebied waarover gecoördineerd moet worden, blijkt vooral afhankelijk van de frequentieband en niet van de satellietpositie. Het gebied wordt kleiner bij hogere frequenties.

Voor de zendcontour is dit is onder andere te verklaren uit het feit dat een 9 meter antenne in de Ku-band veel sterker bundelt dan een antenne in de C-band met dezelfde diameter, zodat het benodigde zendvermogen van het satellietgrondstation veel lager is. Ook heeft de Ku-band 'spotbeam' van Intelsat K een grotere versterking dan de C-band 'hemi beam'. De satelliet kan in de Ku-band veel kleinere signaalniveaus ontvangen en met een veel hoger niveau weer terugzenden naar de aarde. Er hoeft daarom voor een goede verbinding minder energie door het grondstation worden opgestraald hetgeen verder bijdraagt tot vermindering van mogelijke interferentie met andere aardse systemen.

Voor de ontvangstcontour is het coördinatiegebied ook kleiner. Omdat de energie van de aardse straalzenders meer gebundeld wordt bij hogere frequenties, hebben de ontvangende straalzenders minder signaal nodig voor een goede ontvangst. Bij hogere frequenties zal het uitgezonden vermogen van straalzenders daarom lager kunnen zijn. De ontvangstgevoeligheid van het satellietgrondstation is in het horizontale vlak vrijwel omnidirectioneel, waardoor deze gevoeligheid in het horizontale vlak niet afhankelijk is van de frequentie en dus ook niet toeneemt bij hogere frequenties, zoals dat bij de ontvangende straalzenders wel het geval is. Bij een lager zendvermogen van de straalzenders treedt er daarom minder snel interferentie op.

De geïdentificeerde gebieden van coördinatie zijn zo groot, dat deze zeer veel straalzenders bevatten en het aantal mogelijkheden op wederzijdse interferentie zeer groot is. Om na te gaan of er ook daadwerkelijk interferentie optreedt, moet daarom eerst bekend zijn welke satellieten, welke frequenties en welke bandbreedten gebruikt gaan worden. Hierdoor wordt het aantal mogelijkheden van interferentie sterk beperkt en kan een coördinatieprocedure in gang worden gezet. Aanbevolen wordt om, nadat meer bekend is over de satellieten die gebruikt gaan worden en met welke frequentie en bandbreedte gewerkt gaat worden, zo spoedig mogelijk de aanvraag voor coördinatie bij de RDR in te dienen³.

Om de geschiktheid van de locatie Lauwersmeer verder te onderzoeken, is contact opgenomen met PTT Telecom [3] om na te gaan welke straalzenders er in Nederland aanwezig zijn die eventueel interferentieproblemen kunnen opleveren. Het blijkt, dat er vrijwel geen straalzenders aanwezig zijn in de Noordelijke helft van Nederland. De straalzenders, die er wel zijn, wijzen niet richting Lauwersmeer. Deze situatie is zo gunstig, omdat PTT Telecom rekening heeft gehouden met interferentie tussen haar straalzenders en haar eigen grondstation Burum.

³ Voor alle duidelijkheid wordt opgemerkt, dat de beschikbare frequentieband honderden MHz breed is en dat binnen deze band een groot aantal frequenties te vergeven zijn. Indien bepaalde frequenties i.v.m. interferentie met straalzenders niet geschikt blijken, kan uitgeweken worden naar andere frequenties.

De locatie Lauwersmeer ligt slechts enkele kilometers ten noorden van het PTT-satellietgrondstation.

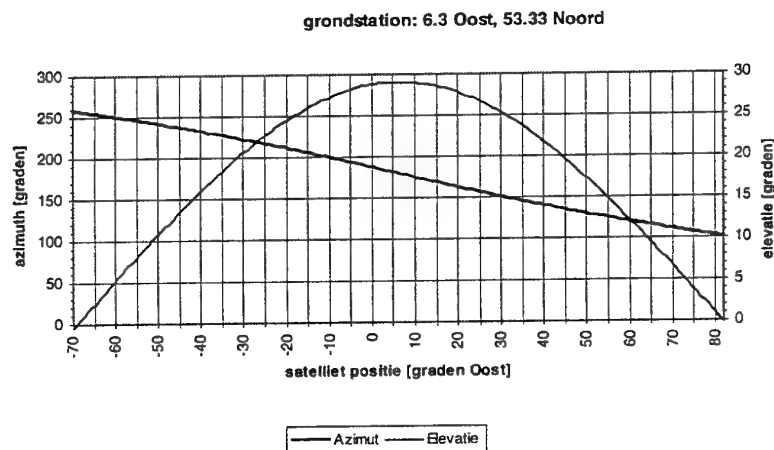
Over andere frequentiebanden dan C- en Ku-band valt nog niet veel te zeggen. Hier moet met name worden gedacht aan de X-band (8/7 GHz) voor militair gebruik. Hier kunnen eventueel problemen optreden, maar deze moeten normaal gesproken via coördinatie opgelost kunnen worden. Zoals eerder reeds besproken, moet voor het uitsluiten van interferentie eerst bekend zijn welke militaire satelliet gebruikt gaat worden en wat de gekozen frequenties binnen de X-band zijn. In de toekomst zal wellicht ook van hogere frequenties (EHF) gebruik gemaakt gaan worden. In de EHF-banden voor satellietcommunicatie, bestaande uit de civiele Ka-band (20/30 GHz) en de militaire frequentieband van 20/44 GHz, zijn nog geen straalzenders aanwezig.

Geconcludeerd wordt, dat de locatie Lauwersmeer voor wat betreft de mogelijke interferentie met (inter)nationale systemen zeer gunstig lijkt vanwege de aanwezigheid van grondstation Burum. Indien bij de coördinatieprocedure onverhoopt blijkt, dat bepaalde frequenties niet gebruikt kunnen worden, moeten andere frequenties worden gekozen binnen de beschikbare bandbreedte.

3. Plaatsing van de antennes op het complex

3.1 Benodigde vrije zicht van de antennes

In fig. 3.1 zijn de azimuth en elevatie gegeven als functie van de positie van de satelliet waarnaar de antenne in Lauwersmeer kijkt. Om de atmosferische demping niet te groot te laten worden, moet de elevatiehoek niet kleiner zijn dan 5 graden. De meest westelijke en oostelijke satellieten van Intelsat zullen na 1997 gepositioneerd zijn op 56°W en 66°O. De minimale elevatiehoeken zijn dus 7,49° resp. 8,94°. Het azimuth voor de satellietposities is 247,16° resp. 115,11°, d.w.z. dat de antennerichting -67,16° resp. 64,89° t.o.v. het zuiden is. De maximale theoretische elevatie vinden we voor de satellietpositie, die precies ten zuiden ligt van het grondstation. Voor deze positie (6,3°O) is de elevatie 29,07°.



Figuur 3.1: Azimut en elevatie van de hoofdbundel van de antenne als functie van de satellietpositie.

Om de benodigde vrije ruimte rond het grondstation af te schatten kan de volgende formule worden gebruikt:

$$h_{\text{obst}} = h_{\text{ant}} + r \times \tan \varphi - \frac{1}{2}d \quad (1)$$

waarbij

h_{obst} = maximale hoogte van een mogelijk obstakel

h_{ant} = afstand van de antennerand tot het aardoppervlak

r = afstand van het obstakel tot de antenneschotel

φ = elevatiehoek, af te lezen uit figuur 3.1 als functie van de satellietpositie

d = antennediameter (9 meter)⁴

⁴ De antennebundel moet niet gehinderd worden door obstakels. Deze moeten minimaal een halve antennediameter van de bundel verwijderd zijn [4].

Indien h_{ant} gelijk is aan 1 meter, mag er dus bij de minimale elevatiehoek van $7,49^\circ$ pas een obstakel staan van 1 meter hoog op een afstand van 34,2 meter. Bij 50 meter mag het obstakel in dit geval 3,1 meter hoog zijn en op 100 meter afstand 9,6 meter hoog. Bij de maximale elevatiehoek van $29,07^\circ$, dus precies ten zuiden van de antenne, is de maximale obstakelhoogte gelijk aan 10,4 meter op 25 meter afstand van de antenne en 24,3 meter op 50 meter afstand (h_{ant} is weer gelijk aan 1 meter).

Voor de minimale afstand van twee antennes, die op een denkbeeldige lijn van het oosten naar het westen zijn geplaatst, geldt de volgende formule:

$$r = 1,5d / \sin \theta \quad (2)$$

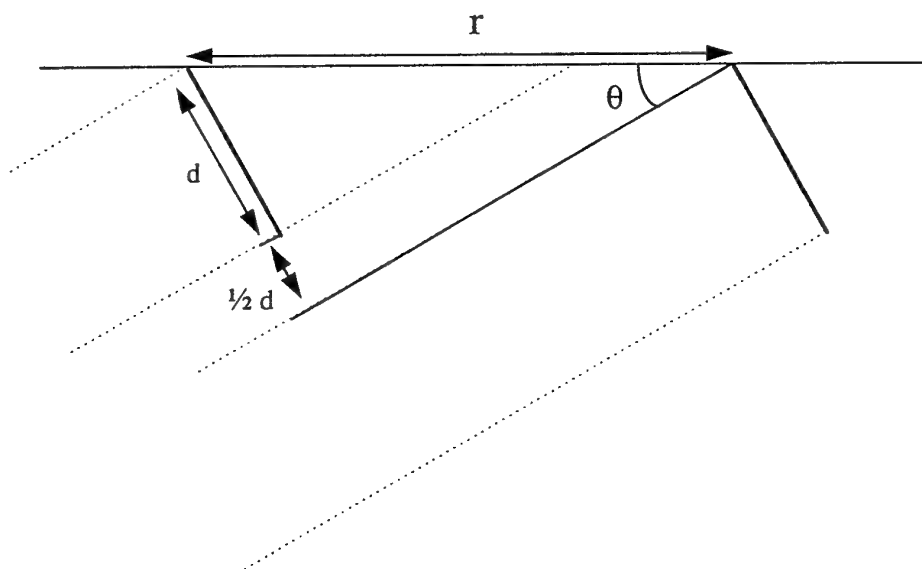
waarbij

r = afstand tussen de antennes

d = antennediameter

θ = de horizontale hoek van de antennebundel met de denkbeeldige lijn

De afstand tussen de antennes wordt bepaald door de worst case situatie die ontstaat indien beide antennes kijken naar de meest westelijke satelliet. De hoek t.o.v. het zuiden is in dat geval $67,16^\circ$ (zie vorige bladzijde), dan is θ gelijk aan $22,84^\circ$ t.o.v. de lijn van Oost naar West. Uit formule (2) volgt een minimale afstand van 34,8 meter. Zie voor een situatieschets figuur 3.2. In deze figuur is aangegeven dat de antennebundels minimaal een halve antennediameter uit elkaar moeten staan [4].



Figuur 3.2: Situatieschets van plaatsing van twee antennes t.o.v. elkaar.

Indien de antennes op een denkbeeldige lijn van het noorden naar het zuiden worden geplaatst, kan formule (2) opnieuw worden toegepast. In dat geval moet

voor θ de elevatiehoek worden genomen, die gelijk is aan 29.07° . Bij gelijke antennehoogtes en antennediameters van 9 meter wordt de minimale afstand gelijk aan 27,8 meter.

3.2 Het stralingsgevaar voor mensen

De berekeningen voor het bepalen van de vermogensdichtheid in de antennebundel zijn uitgevoerd met het programma PARADE (TNO-FEL) [5] en zijn gebaseerd op de formules van Bickmore en Hansen [6]. Met behulp van dit programma wordt de vermogensdichtheid uitgerekend in het gebied dat loopt van dichtbij de antenne tot aan het zogenaamde 'verre veld' van de antenne. Het verre veld wordt gekenmerkt door de reciproke afhankelijkheid van de vermogensdichtheid van het kwadraat van de afstand. In het gebied tot aan het verre veld blijft de bundeldiameter ongeveer gelijk aan de diameter van de antenne. De maximale vermogensdichtheid in de centrale bundel wordt gegeven door de figuren A.1 t/m A.9 van Bijlage A.

In onderstaande tabel zijn een aantal gegevens van de doorgerekende antennes gegeven.

Tabel 3.1: Enkele gegevens van een 9 meter antenne voor drie frequentiebanden.

	C-band antenne	X-band antenne	Ku band antenne
far field distance	3240 m	4323 m	7565 m
antenna efficiency	75%	75%	75%
rad. near field	75 m	86 m	114 m
Gain	53.3 dBi	55.8 dBi	60.8 dBi
First side lobe	-24.6 dB	-24.6 dB	-24.6 dB

Uitgaande van de gezondheidsnormen [7] mogen de volgende limieten niet worden overschreden. Voor personeel dat met de antennes werkt geldt de limiet van 5 mW/cm^2 en voor anderen 1 mW/cm^2 .

Ook voor het maximale elektrische veld zijn er grenswaarden. Er geldt bijvoorbeeld de eis dat het veld niet hoger mag zijn dan 63 V/m (frequentieafhankelijk, deze waarde geldt tussen 2 en 300 GHz [7]). Dit komt overeen met 1 mW/cm^2 . De 5 mW/cm^2 grens komt overeen met 137 V/m .

Conclusies

- Bij 100 W geen problemen.
- 6 GHz

Boven 150 W ontstaan er problemen indien iemand zich in de centrale bundel op een afstand kleiner dan 350 meter van de antenne bevindt. Aangezien de bundel onder slechts 7 graden omhooggericht kan staan en de bundeldiameter in het gebied tot aan het verre veld ongeveer gelijk is aan de antennediameter,

zal pas op een afstand groter dan 25 meter van de antenne de bundel hoger dan 3 meter boven het maaiveld zijn. Dus pas op een afstand van 25 meter wordt het minder waarschijnlijk dat iemand zich in de centrale bundel van de antenne bevindt. Bij 50 meter ongeveer 6 meter enz. Grofweg kan men stellen dat boven 150 W en dichter dan 25 m bij de antenne, een gevaarlijke zone ontstaat. Het zijlus niveau is ongeveer een factor 100 lager dan de centrale bundel. Dus zelfs in het maximale geval van 10 kW zal het niet gevaarlijk zijn in de zijlussen.

- 8 GHz

Boven 150 W ontstaan er problemen indien iemand zich in de centrale bundel op een afstand kleiner dan 400 m van de antenne bevindt. Verder geldt bij 8 GHz dezelfde veiligheidszone als bij 6 GHz (25 meter afstand van de antenne).

- 14 GHz

Boven 150 W ontstaan er problemen indien iemand zich in de centrale bundel op een afstand kleiner dan 700 m van de antenne bevindt. Verder geldt bij 14 GHz dezelfde veiligheidszone als bij 6 GHz (25 meter afstand van de antenne).

Om problemen met stralingsgevaar te voorkomen, verdient het aanbeveling om de antennes op een verhoging te plaatsen. Dit vermindert tevens de eisen voor obstakels in de buurt van de antennes.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Er bestaat geen locatie zonder kans op interferentie, gezien de grootte van de geïdentificeerde gebieden van frequentiecoördinatie en het grote aantal straalzenders dat in de verschillende landen staat opgesteld. Hierdoor is het aantal mogelijkheden op wederzijdse interferentie zeer groot. Om na te gaan of er ook daadwerkelijk interferentie optreedt, moet daarom eerst bekend zijn welke satellieten, welke frequenties en welke bandbreedten gebruikt gaan worden. Indien dit bekend is, wordt het aantal mogelijkheden van interferentie sterk beperkt en kan een coördinatieprocedure in gang worden gezet.
- Het gebied waarover frequentie-coördinatie plaats moet vinden, blijkt vooral afhankelijk van de frequentieband en niet van de satellietpositie. Bij hogere frequenties wordt het coördinatiegebied kleiner.
- Hoewel het gebied van coördinatie groot is, lijkt er bijna geen betere locatie denkbaar binnen Nederland, aangezien de locatie Lauwersmeer slechts enkele kilometers ten noorden van grondstation Burum ligt. Grondstation Burum is reeds zoveel mogelijk gevrijwaard van interferentie.
- Voor de plaatsing van de antennes op het complex ontstaat m.b.t. onderlinge interferentie de worst case situatie, wanneer twee antennes bij de minimaal te verwachten elevatiehoek in dezelfde richting kijken. Indien de antennediameter gelijk is aan 9 meter en de antennes opgesteld zijn op één lijn van het oosten naar het westen, moet de minimale afstand tussen de antennes ongeveer 35 meter zijn.

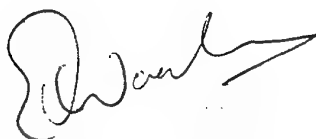
4.2 Aanbevelingen

- Bij het aankopen van antennes dient aan de leverancier aangegeven te worden, dat de antennes aan de Intelsat-normen (de Intelsat Earth Station Standards, IESS-601) moeten voldoen.
- Nadat bekend is welke satellieten gebruikt gaan worden en met welke frequenties en bandbreedten gewerkt gaat worden, moet zo spoedig mogelijk de aanvraag voor coördinatie bij de Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR) worden ingediend.
- Om stralingsgevaar voor mensen te voorkomen verdient het aanbeveling om de antennes op een verhoging te plaatsen, zodanig dat de antennebundel over de mensen in de buurt van de antenne heen gaat. Dit vermindert bovendien de kans op problemen met obstakels en begroeiing in de buurt van de antennes.

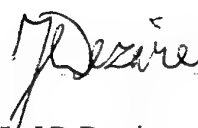
5. Referenties

- [1] Intelsat Earth Station Standards (IESS), Document IESS-601 (Rev. 6), STANDARD G, 'Performance characteristics for earth stations accessing the Intelsat space segment for international and domestic services not covered by other earth station standards' (6/4, 14/11, and 14/12 GHz).
- [2] Appendix 28, Orb-88, 'Method for the Determinatin of the Coordination Area Around an Earth Station in Frequency Bands Between 1 GHz and 40 GHz Shared Between Space and Terrestrial Radiocommunication Services', International Telecommunication Union (ITU), Radio Regulations, Edition of 1990, Revised in 1994, Geneva 1994, ISBN 92-61-05171-5.
- [3] PTT Telecom, afdeling European Policy and Regulation, G. Woolderink, november 1996.
- [4] Telefonisch overleg met PTT Telecom, grondstationbeheerder van Burum, november 1996.
- [5] Huizing, A.G., 'PARADE 2.0', TNO-FEL 1996.
- [6] Bickmore R.W. en Hansen R.C., 'Antenna Power Densities in the Fresnel Region', IRE Trans Antennas Propagation, pp 2119-2120, Dec. 1959.
- [7] IRPA, 'Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz', Health Physics, 54, 115-123, 1988.

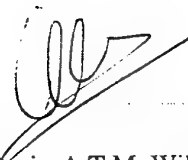
6. Ondertekening



Ir. E.C.C. van Woerkens
Groepsleider

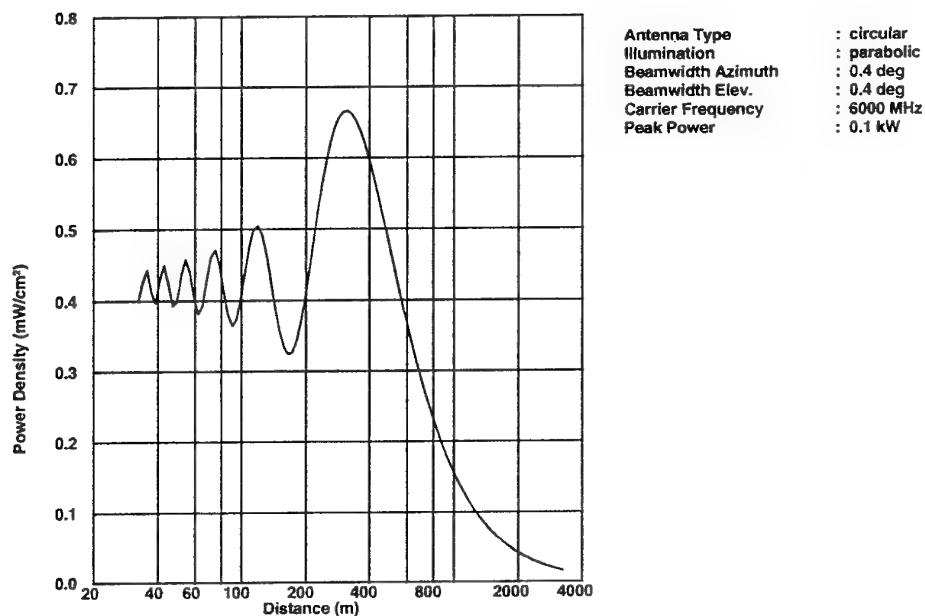


Ir. J.P. Dezaire
Auteur

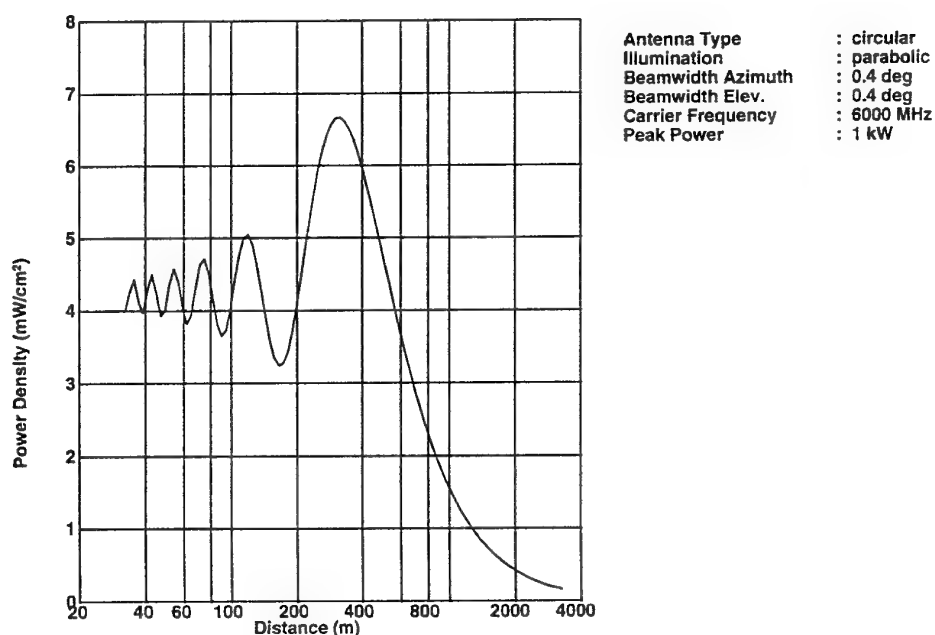


Dr. ir. A.T.M. Wilbers
Auteur

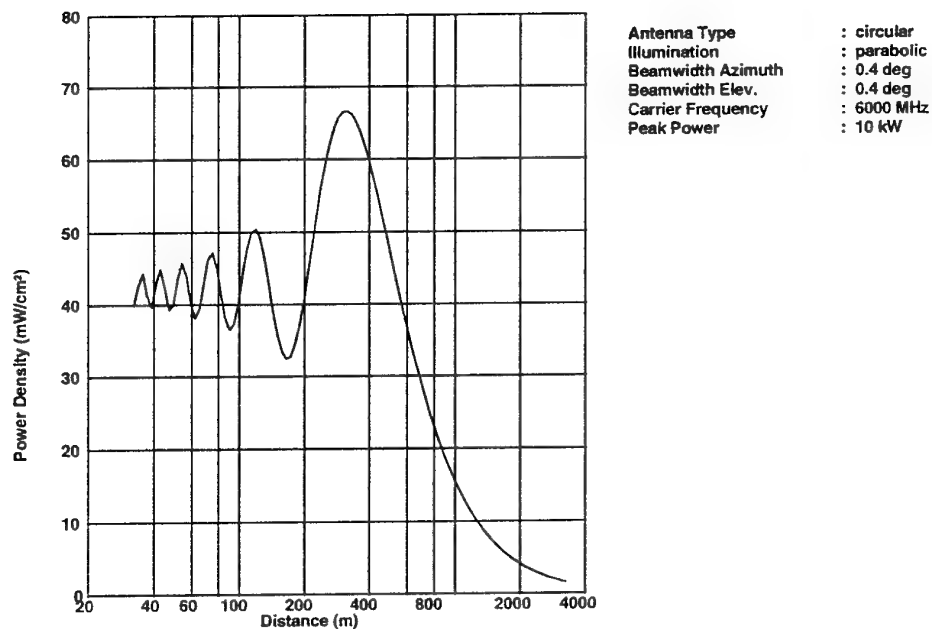
Bijlage A Vermogensdichtheid in de centrale bundel



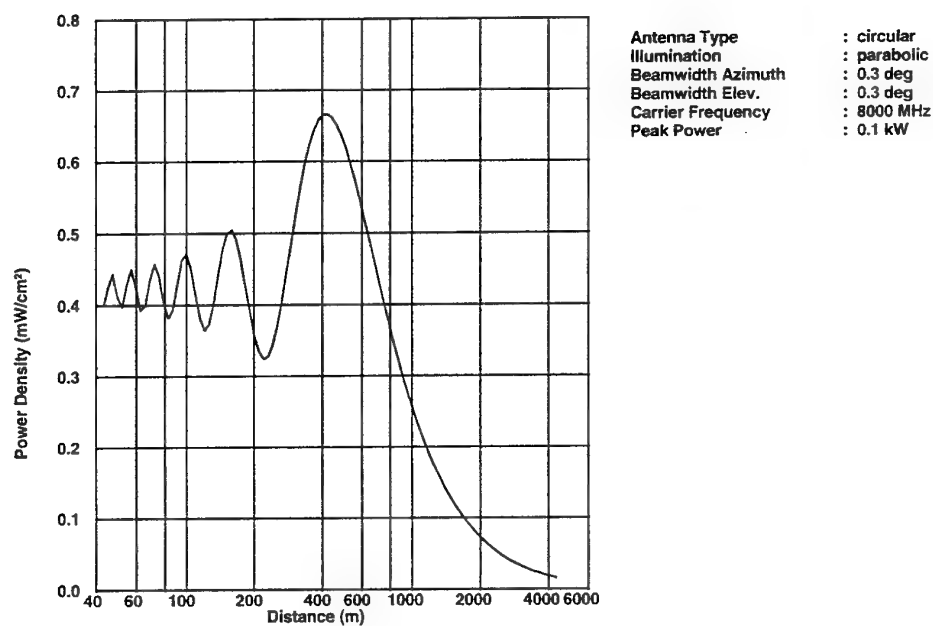
Figuur A.1: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



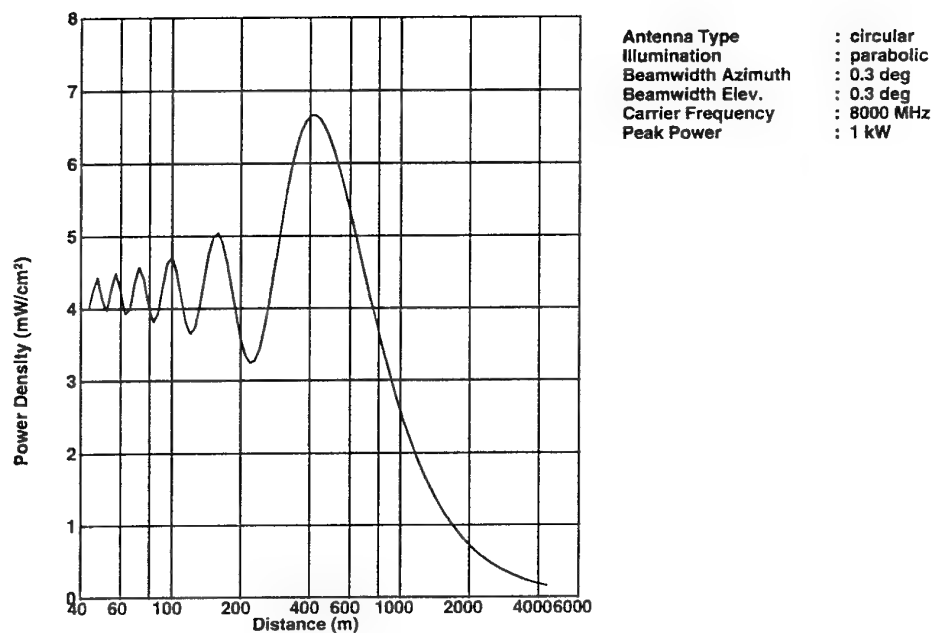
Figuur A.2: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



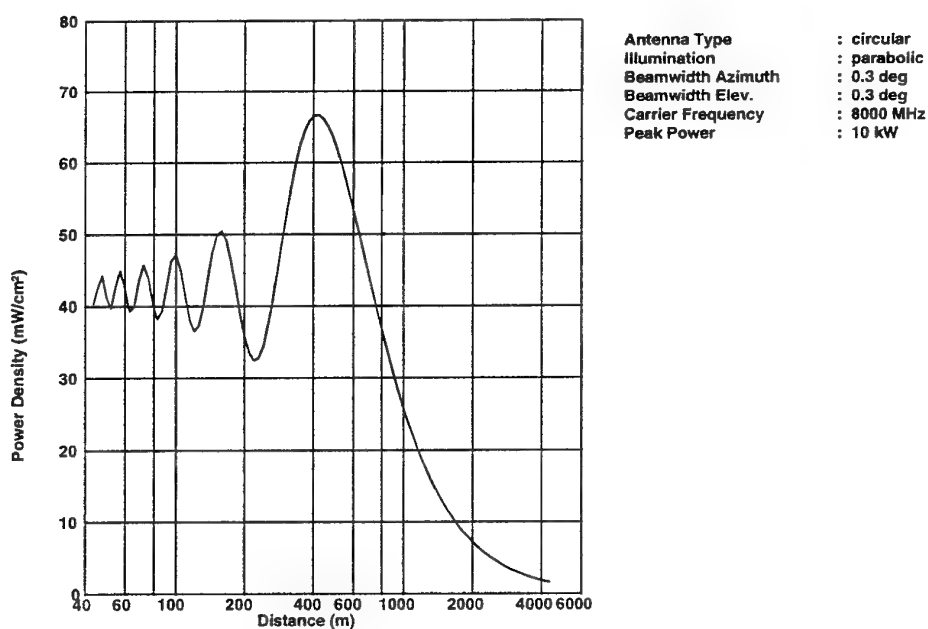
Figuur A.3: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



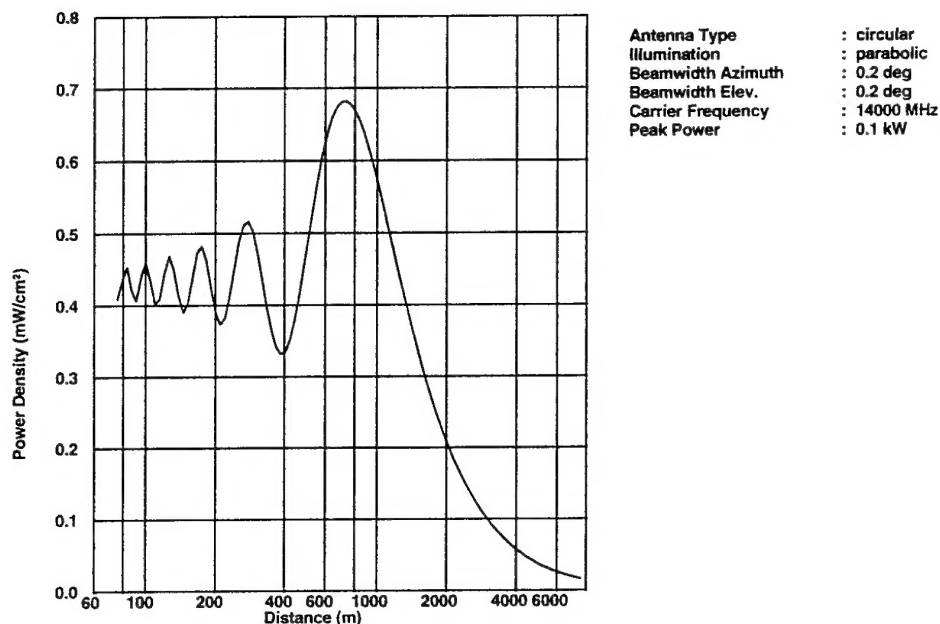
Figuur A.4: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



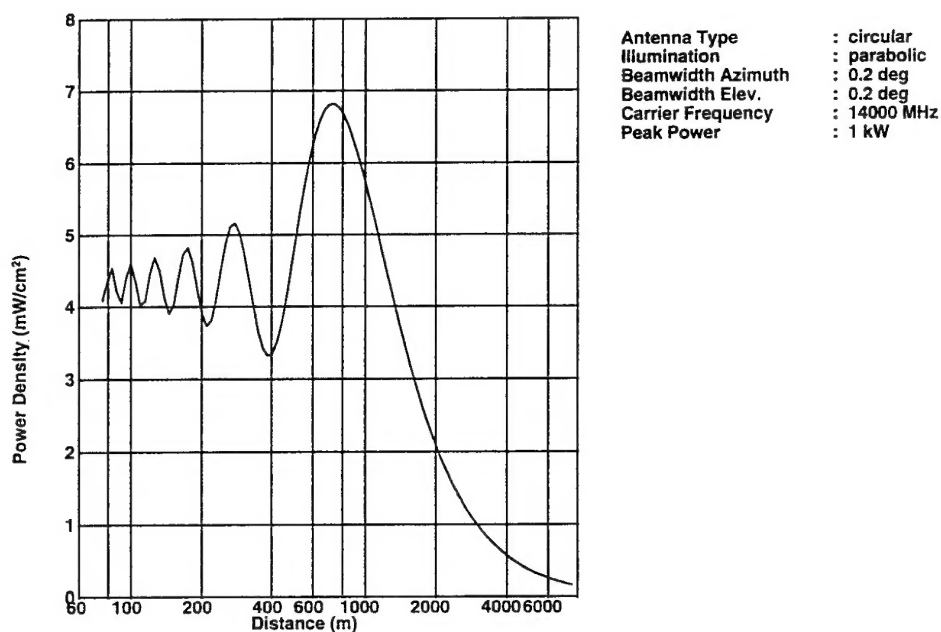
Figuur A.5: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



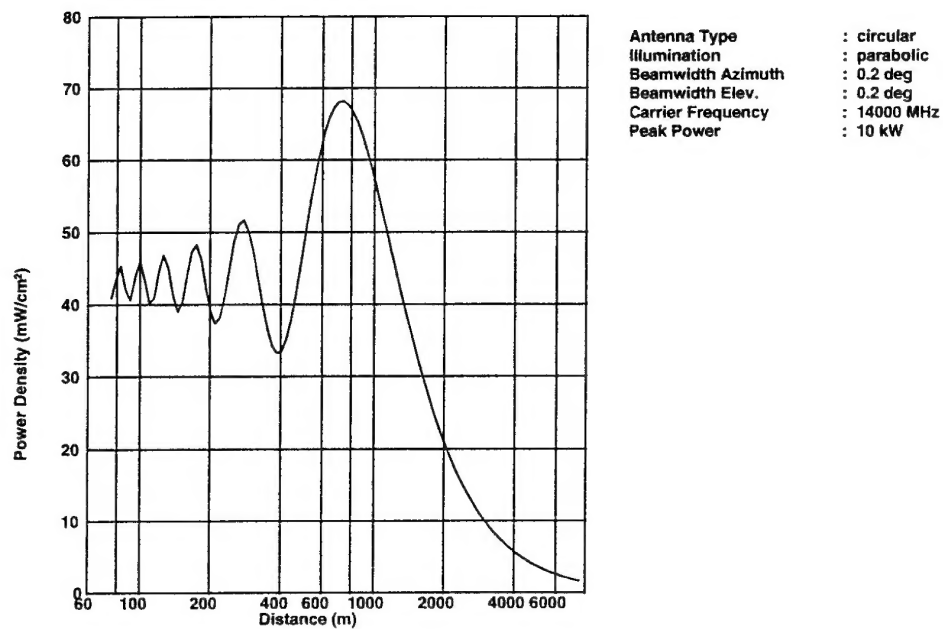
Figuur A.6: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



Figuur A.7: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



Figuur A.8: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.



Figuur A.9: Vermogensdichtheid in de Fresnelzone voor een circulaire reflector antenne met een diameter van 9 meter. Voor grotere afstanden gelden de 'verre veld' formules.

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD97-0081	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO FEL-97-A043
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 6026713	5. CONTRACT NO 852.2226.6240.11	6. REPORT DATE March 1997
7. NUMBER OF PAGES 31 (incl 1 appendix, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 7	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Evaluatie van de locatie Lauwersmeer voor INTERSAT (Evaluation of the location of INTERSAT at Lauwersmeer)		
11. AUTHOR(S) J.P. Dezaire, Dr A.T.M. Wilbers		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Physics and Electronics Laboratory, PO Box 96864, 2509 JG The Hague, The Netherlands Oude Waalsdorperweg 63, The Hague, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Directorate Materiel Royal Netherlands Army, PO Box 90822, 2509 LV The Hague, The Netherlands van der Burchlaan 31, The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) The Directorate Materiel Royal Netherlands Army (DMKL) is in the process of procuring an interim commercial satellite communication system (INTERSAT). After extensive research it has been advised by DMKL to the Army Staff to locate the anchor station of INTERSAT at Lauwersmeer. To obtain even more assurance about the choice for this location, TNO-FEL has been tasked to investigate the frequency interference and radiation aspects at Lauwersmeer. The following aspects have been investigated and are described in this report: possible interference with (inter)national systems, the necessary free space around the antennas (buildings, trees etc.) and the radiation hazard for people in the neighbourhood of the antennas. The main conclusion is that the location at Lauwersmeer appears to be a good choice for a satellite groundstation.		
16. DESCRIPTORS Military procurement Spacecraft communication Frequency interference Electromagnetic radiation Radiation hazards		IDENTIFIERS Frequency coordination INTERSAT
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst

1. Bureau TNO Defensieonderzoek
2. Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling*)
3. HWO-KL
4. HWO-KLu*)
5. HWO-KM*)
6. HWO-CO*)
- 7 t/m 9. KMA, Bibliotheek
10. DMKL/COM, t.a.v. Ing. P.P.M. Geilenkirchen
11. DMKM/MP/MILSATCOM, t.a.v. KTZ G.D. den Hollander
12. OCEde/Kenniscentrum, t.a.v. Dhr. J.H.H. Valkenburg
13. Directie TNO-FEL, t.a.v. Dr. J.W. Maas
14. Directie TNO-FEL, t.a.v. Ir. J.A. Vogel, daarna reserve
15. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan M&P*)
16. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. F.G.J. van Aken*)
17. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. E.C.C. van Woerkens
18. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. H.J. Dekker
19. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. R.N. van Wolfswinkel
20. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ing. J. van den Oever
21. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Ir. J.P. Dezaire
22. Archief TNO-FEL, in bruikleen aan Dr.ir. A.T.M. Wilbers
23. Documentatie TNO-FEL
- 24 t/m 30. Reserve

TNO-PML, Bibliotheek**)

TNO-TM, Bibliotheek**)

TNO-FEL, Bibliotheek**)

Indien binnen de krijgsmacht extra exemplaren van dit rapport worden gewenst door personen of instanties die niet op de verzendlijst voorkomen, dan dienen deze aangevraagd te worden bij het betreffende Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek of, indien het een K-opdracht betreft, bij de Directeur Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling.

*) Beperkt rapport (titelblad, managementuittreksel, RDP en distributielijst).

**) RDP.